

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
17. Januar 2002 (17.01.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/04374 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **C03C 17/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/02501

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. Juni 2001 (28.06.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 34 158.6 10. Juli 2000 (10.07.2000) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Leonrodstraße 54, 80636 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHULZ, Ulrike** [DE/DE]; Vor dem Obertore 14, 07751 Kunitz (DE). **KAISER, Norbert** [DE/DE]; Am Katzenstein 1, 07745 Jena (DE). **SCHALLENBERG, Uwe** [DE/DE]; August-Bebel-Str. 30, 07743 Jena (DE).

(74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR**; Gostritzer Str. 61-63, 01217 Dresden (DE).

(81) Bestimmungsstaat (national): US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

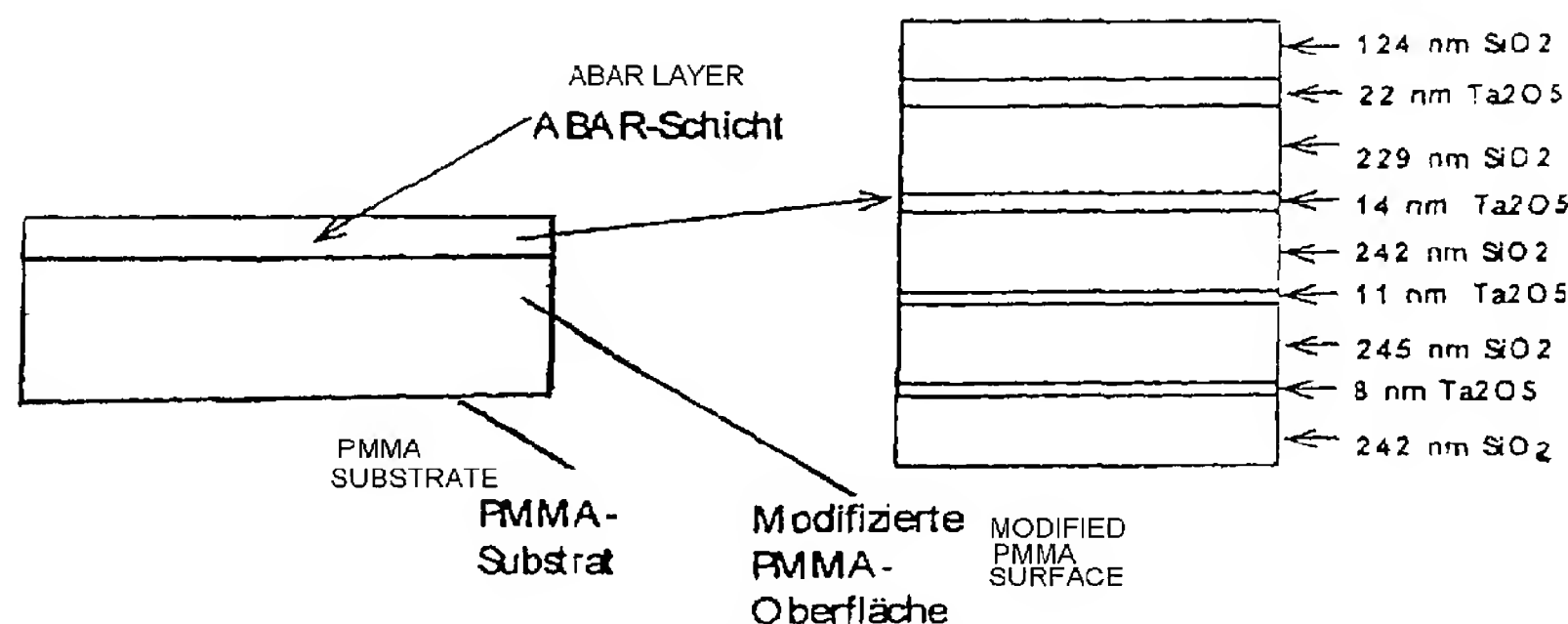
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: REFLECTION-REDUCING COATING

(54) Bezeichnung: REFLEXIONSMINDERNDE BESCHICHTUNG



Schematischer Aufbau eines abriebbeständigen Antireflex-Schichtsystem auf PMMA
(Gesamtschichtdicke ca. 1.1 µm).

SCHEMATIC STRUCTURE OF A WEAR-RESISTANT
ANTI-REFLECTION LAYER SYSTEM ON PMMA
(TOTAL LAYER THICKNESS APPROX. 1.1 µm).

ABAR-Schichten= Abriebbeständige Antireflexbeschichtungen

ABAR LAYER = WEAR-RESISTANT ANTI-REFLECTION COATINGS

(57) Abstract: The invention relates to a reflection-reducing coating applied to a substrate. Said coating is comprised of an alternating layer system and of different layer materials each having a lower and higher refractive index. The invention can be advantageously used, in particular, on surfaces of substrates such as optical elements and, in particular, spectacle lenses. The aim of the invention is to be able to coat the most varied types of substrates and to prevent any impermissible heating of the respective substrate while applying a reflection-reducing coating. To this end, the invention provides the application of a coating in which the sum of the layer thicknesses of layers each having a higher refractive index is $\leq 5\%$ of the total layer thickness of the coating, and the layers made of the material having a higher refractive index are uniformly distributed within the series of layers of the alternating layer system.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 02/04374 A2



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine reflexionsvermindernde Beschichtung auf einem Substrat, die aus einem alternierenden Wechselschichtsystem, unterschiedlicher Schichtmaterialien mit jeweils niedrigerem und höherem Brechungsindex gebildet ist. Die Erfindung kann insbesondere auf Oberflächen von Substraten, wie optische Elemente und insbesondere Brillengläser vorteilhaft eingesetzt werden. Aufgabengemäss sollen unterschiedlichste Substrate beschichtet werden und beim Auftragen einer reflexionsvermindernden Beschichtung keine unzulässige Erwärmung des jeweiligen Substrates auftreten. Hierzu wird eine Beschichtung aufgebracht, bei der die Summe der Schichtdicken von Schichten mit jeweils höherem Brechungsindex ≤ 5 % der Gesamtschichtdicke der Beschichtung ist und die Schichten aus dem Material mit höherem Brechungsindex innerhalb der Schichtfolge des Wechselschichtsystems gleichmässig verteilt sind.

Reflexionsmindernde Beschichtung

Die Erfindung betrifft eine reflexionsmindernde Beschichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Mit
5 der erfindungsgemäßen Lösung kann die Reflexion von auf die Oberfläche von Substraten auftreffendem Licht effektiv und in hohem Maße verringert werden, was für viele Anwendungsfälle, insbesondere für viele optische Elemente (Linsen, Fenster, Prismen u.a.) oder
10 optoelektronische Elemente und auch für Brillengläser wünschenswert ist. Die Beschichtung kann besonders vorteilhaft zur Reflexionsverminderung im sichtbaren Spektralbereich eingesetzt werden.

15 Für viele Applikationen und hier sollen Brillengläser explizit genannt werden, ist es ebenfalls erforderlich, eine entsprechende "Antireflexbeschichtung" mit hoher Abriebbeständigkeit zur Verfügung zu stellen.

In der Vergangenheit hat sich auch Kunststoff, insbesondere wegen der Herstellungskosten und der im Vergleich zu Gläsern geringeren Dichte als Material für optische Elemente und Brillengläser durchgesetzt.

5

Kunststoff weist zwar äquivalente optische Eigenschaften gegenüber den bis dato verwendeten Gläsern auf, verfügt aber über eine wesentlich geringere Kratzfestigkeit, so dass bei mechanischen, abrasiv wirkenden Einflüssen die Oberflächen beschädigt und das optische Verhalten entsprechend verschlechtert wird.

10

Für optische Bauteile und insbesondere Brillengläser sind abriebbeständige und reflexionsvermindernde Oberflächen, die nur durch entsprechende Beschichtungen erhalten werden können, erforderlich.

15

Solche Beschichtungen müssen beispielsweise auch bei erforderlichen Reinigungsprozessen eine ausreichende Wischfestigkeit gemäß der Internationalen Norm ISO 9211-02 erfüllen, die mit Baumwolltüchern oder Radiergummi durchgeführt werden.

20

Insbesondere bei Brillengläsern werden Hartschichten mit einer Dicke von mehreren Mikrometern und darauf eine zusätzliche reflexionsmindernde Beschichtung aufgebracht.

25

Solche Hartschichten können durch Auftrag von Lack und dem nachfolgenden Aufdampfen einer reflexionsmindernden Beschichtung, wie von W. Köppen und E. Kamp-

30

meyer in DOZ 2(1995); Seiten 22 bis 26 beschrieben, hergestellt werden.

5 Die Erzeugung von Hartschichten durch Plasmapolymersation geht auf J. Bötschi, F. Thieboud zurück und ist in DOZ 10 (1992); Seiten 26 bis 27 und für das Aufdampfen solcher Hartschichten von D. Giessner in NOJ 5 (1995); Seiten 62 bis 64 erwähnt, wobei es sich bei der letztgenannten Veröffentlichung um organisch
10 modifizierte Quarzschichten handelt. Im Nachgang zum Aufbringen solcher Hartschichten ist es wiederum erforderlich, durch bekannte CVD- bzw. PVD-Verfahren die reflexionsmindernde Deckschicht aufzubringen.

15 Insbesondere an thermoplastische Polymere, wie Polymethylmethacrylat, Polycarbonat und andere solche Kunststoffe, werden die gleichen Anforderungen, wie an andere Substratmaterialien gestellt, wobei bisher entsprechend geeignete Beschichtungen nasschemisch
20 oder durch Aufdampfen bzw. eine Kombination dieser Beschichtungsverfahren erhalten werden. So ist ein nasschemischer Auftrag mit bekannten Lackiertechniken ein zusätzlicher Herstellungsschritt, der vom Verfahrensschritt der Ausbildung der reflexionsmindernden
25 Schicht entkoppelt ist, aufwendig und teuer. Für Präzisionsoptiken mit sehr unregelmäßig geformten bzw. stark gekrümmten Oberflächen und bei kleinteiligen optischen Elementen sind solche Verfahren ungeeignet. Bei einer reflexionsmindernden Beschichtung, die auf
30 eine relativ Dicke abriebfestere Hartschicht aufgebracht worden ist, tritt eine zusätzliche Welligkeit der spektralen Reflexion des Gesamtschichtsystems,

infolge Interferenzwirkung bei unterschiedlichem Brechungsindize von Substratmaterial und Hartschicht auf.

5 Für breitbandige reflexionsvermindernde Beschichtungen, die beispielsweise den Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes abdecken, sind zwei bis sechs Einzelschichten erforderlich. Bei den bekannten Wechschichtsystemen kann es zu einer Erwärmung des Substrates kommen. Es können Temperaturen erreicht werden, die oberhalb von kritischen Erweichungstemperaturen (z.B. 80 bis 110 °C bei Acrylaten) des Substratmaterials liegen. Die Erwärmung erfolgt dabei im Wesentlichen durch die Verdampfung des hochbrechenden Schichtmaterials.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine reflexionsmindernde Beschichtung auf einem Substrat zur Verfügung zu stellen, die auf beliebigen Substraten aufgebracht werden kann, ohne dass beim Auftragen eine unzulässige Erwärmung auftritt.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer Beschichtung gemäß Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung können mit den in den untergeordneten Ansprüchen genannten Merkmalen erreicht werden.

Die erfindungsgemäße reflexionsmindernde Beschichtung wird aus einem alternierenden Wechschichtsystem, unterschiedlicher Schichtmaterialien mit jeweils niedrigerem und höherem Brechungsindex, gebildet.

Dabei wird das Schichtsystem so ausgelegt, dass die Summe der Schichtdicken von Schichten mit höherem Brechungsindex $\leq 5\%$, der Gesamtschichtdicke der Beschichtung beträgt. Diese Schichten sind innerhalb
5 der Schichtfolge des Wechselschichtsystems weitestgehend gleichmäßig verteilt angeordnet. Die gleichmäßige Verteilung und Auswahl der Dicken der sehr dünnen höherbrechenden Schichten erfolgt unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Wellenlängenbereiches des
10 Lichtes sowie der optischen Eigenschaften der Schicht- und Substratmaterialien.

Das Substrat ist bevorzugt im Wellenlängenbereich, in dem die Reflexion verhindert werden soll, optisch
15 transparent. Durch die Beschichtung wird die Transparenz erhöht.

Als Substratmaterial können neben den üblicherweise verwendeten optischen Gläsern auch die unterschiedlichsten Kunststoffe, wie z.B. Polycarbonat und Polymethylmethacrylat, aber auch temperaturempfindliche
20 Kristallmaterialien eingesetzt werden, wobei die Beschichtung mit Verfahren für die Substratvorbehandlung und Schichtausbildung, wie sie in DE 197 03 538 A1 und DE 197 52 889 C1 beschrieben sind, aufgebracht
25 werden kann. Mit der Erfindung ist es möglich, die unerwünschte Erwärmung des Substratmaterials auszuschließen.

30 Als Schichtmaterialien für die Einzelschichten des Wechselschichtsystems mit höherem Brechungsindex können Oxide oder Fluoride bevorzugt von Elementen der

IV. und V. Nebengruppen eingesetzt werden. Beispiele sind Ta_2O_5 , ZrO_2 , HfO_2 , TiO_2 oder auch Indium-Zinn-Oxid (ITO).

5 Für die Schichten aus Materialien mit entsprechend niedrigerem Brechungsindex können vorteilhaft SiO_2 und MgF_2 eingesetzt werden, wobei insbesondere SiO_2 günstige Eigenschaften als Hartschicht aufweist. Generell besteht die die Grenzschicht zu Luft bildende
10 Schicht aus niedrigbrechendem Material.

Das die Reflexion vermindernde Wechselschichtsystem kann aus Schichten lediglich zweier Materialien mit den entsprechenden Brechungsindizes gebildet sein. Es
15 besteht aber auch die Möglichkeit, ein solches Wechselschichtsystem aus mehreren solcher Materialien auszubilden.

Ein solches Wechselschichtsystem kann auf einen vorgebbaren Wellenlängenbereich des Lichtes abgestimmt
20 werden, wobei Möglichkeiten bestehen, eine Abstimmung für den Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes, des Lichtes im nahen Infrarotbereich und auch im UV-Bereich vorzunehmen.

25 Für das Wechselschichtsystem müssen mindestens fünf, bevorzugt mindestens neun Einzelschichten eingesetzt werden, wobei jedoch die Anzahl der Schichten auch wesentlich größer gewählt werden kann.

30 Die gesamte Beschichtung kann im sichtbaren Spektral-

bereich eine Gesamtdicke zwischen 500 und 2500 nm, bevorzugt zwischen 750 bis 2000 nm aufweisen.

5 Bei Bedarf kann die erfindungsgemäße Beschichtung auf eine auf der Substratoberfläche bereits vorhandener Schicht oder Beschichtung aufgebracht werden.

10 Wird beispielsweise SiO_2 als Hartschichtkomponente in einem Wechselschichtsystem für eine erfindungsgemäß auf einem optisch transparenten Substrat ausgebildete Beschichtung eingesetzt, bildet das Schichtsystem eine Einheit, die gleichzeitig eine hohe Abriebfestigkeit und eine hohe reflexionsmindernde Wirkung aufweist.

15

Beispiel 1

Eine Beschichtung für den sichtbaren Spektralbereich im Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 420$ nm und
20 $\lambda_2 = 670$ nm kann z.B. folgendes Schichtdesign aufweisen, das mit konstanten Brechzahlen von 1,5 für das Substrat 1,46 für die SiO_2 -Schichten, 2,1 für die Ta_2O_5 -Schichten und 1,0 für Luft berechnet wurde. Das Reflexionsverhalten im Wellenlängenbereich ist in Fi-
25 gur 1 grafisch dargestellt.

Substrat PMMA

1. Schicht 210 nm SiO_2
2. Schicht 4 nm Ta_2O_5
- 30 3. Schicht 251 nm SiO_2

4. Schicht 6 nm Ta_2O_5
5. Schicht 248 nm SiO_2
6. Schicht 9 nm Ta_2O_5
7. Schicht 237 nm SiO_2
- 5 8. Schicht 16 nm Ta_2O_5
9. Schicht 119 nm SiO_2
- Luft

10 Die Gesamtdicke der Schichtfolge beträgt 1100 nm, davon entfallen 1065 nm auf die in der Summe als Hart-schicht wirkenden SiO_2 -Schichten und lediglich 35 nm auf die für die zusätzliche Antireflexwirkung notwendigen Ta_2O_5 -Schichten.

15 Durch Einbau weiterer Schichtpaare aus SiO_2 und Ta_2O_5 ähnlicher Dicke nach der fünften Schicht kann die Gesamtschichtdicke und damit die mechanische Stabilität des Schichtsystems erhöht werden. Durch Entfernen der Schichten 4 und 5 bzw. 4 bis 7 kann das Schichtdesign
20 reduziert werden, ohne dass die Antireflexwirkung verloren geht.

25 Das entsprechende Reflexionsverhalten dieser Schichtsysteme ist in dem in Figur 2 gezeigten Diagramm verdeutlicht.

Beschichtungen aus SiO_2 - und Ta_2O_5 -Schichten auf Kunststoffen sind im sichtbaren Spektralbereich z.B. mit folgenden Schichtenzahlen und Gesamtschichtdicken
30 möglich:

	7 Schichten: ca.	850 nm
	9 Schichten: ca.	1100 nm
	11 Schichten: ca.	1300 nm
5	13 Schichten: ca.	1600 nm
	15 Schichten: ca.	1850 nm
	17 Schichten: ca.	2100 nm

Beispiel 2

10

15

20

Neben Beschichtungen für den VIS-Bereich sind auch analoge Schichtfolgen für den NIR- und den UV-Bereich möglich, welche sowohl abriebfest sind, wie auch reflexionsmindernd wirken und auf die genannten empfindlichen Substratmaterialien aufgebracht werden können. Für den NIR-Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 700$ nm und $\lambda_2 = 1100$ nm ist folgende Schichtfolge mit neun Einzelschichten möglich. Sie wurde mit konstanten Brechzahlen von 1,5 für das Substrat, 1,46 für die SiO₂-Schichten, 2,1 für die Ta₂O₅-Schichten und 1,0 für Luft berechnet.

Substrat Kunststoff

25

30

1. Schicht 349 nm SiO₂
2. Schicht 6,5 nm Ta₂O₅
3. Schicht 417 nm SiO₂
4. Schicht 10 nm Ta₂O₅
5. Schicht 412 nm SiO₂
6. Schicht 15 nm Ta₂O₅
7. Schicht 393,5 nm SiO₂

8. Schicht 26,5 nm Ta₂O₅
9. Schicht 197,5 nm SiO₂
- Luft

5 Die Gesamtdicke der Schichtfolge beträgt 1827 nm, davon entfallen 1769 nm auf die in der Summe als Hart-schicht wirkenden SiO₂-Schichten und lediglich 58 nm auf die für die Antireflexwirkung notwendigen Ta₂O₅-Schichten.

10

Das Reflexionsverhalten für diesen Wellenlängenbereich ist im Diagramm Figur 3 verdeutlicht worden.

Beispiel 3

15

Für den UV-Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 290$ nm und $\lambda_2 = 470$ nm ist folgende Schichtfolge mit neun Einzelschichten möglich. Sie wurde mit konstanten Brechzahlen von 1,5 für das Substrat, 1,46 für die SiO₂-Schichten, 2,1 für die Ta₂O₅-Schichten und 1,0 für Luft berechnet.

20

Substrat Kunststoff

1. Schicht 147 nm SiO₂
2. Schicht 3 nm Ta₂O₅
3. Schicht 176 nm SiO₂
4. Schicht 4,5 nm Ta₂O₅
5. Schicht 174 nm SiO₂
6. Schicht 6,5 nm Ta₂O₅

25

7. Schicht 166 nm SiO_2
8. Schicht 11 nm Ta_2O_5
9. Schicht 83,5 nm SiO_2
- Luft

5

Figur 4 zeigt das entsprechende Reflexionsverhalten diagrammartig.

10

Die Gesamtdicke der Schichtfolge beträgt 771 nm, davon entfallen 746,5 nm auf die in der Summe als Hart-schicht wirkenden SiO_2 -Schichten und lediglich 25 nm auf die für die Antireflexwirkung notwendigen Ta_2O_5 -Schichten.

15

Die Güte der Antireflexwirkung ist abhängig von der Brechzahl des niedrigbrechenden Schichtmaterials. Neben dem bisher angeführten SiO_2 mit einer Brechzahl von 1,46 ist als niedrigbrechendes Material z.B. auch MgF_2 mit einer Brechzahl von 1,38 möglich. Auch die hochbrechenden Schichten können aus einem anderen Material, z.B. aus ZrO_2 mit einer Brechzahl von 2,0 bestehen. Bei Verwendung eines Materials mit einer geringeren Brechzahl als SiO_2 kann für die mittlere Restreflexion im Wellenlängenbereich zwischen λ_1 und λ_2 , z.B. mit MgF_2 ein Wert kleiner als 0,5% erreicht werden.

20

25

Beispiel 4

30

Eine Beschichtung für den sichtbaren Spektralbereich

in dem Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 420$ nm und $\lambda_2 = 670$ nm unter Verwendung der Materialien MgF_2 und ZrO_2 ist z.B. folgendes Schichtdesign möglich. Es wurde mit konstanten Brechzahlen für 1,5 für das Substrat, 1,38 für die MgF_2 -Schichten, 2,0 für die ZrO_2 -Schichten und 1,0 Luft berechnet. Das Reflexionsverhalten ist in Figur 5 dargestellt.

Substrat Kunststoff

1. Schicht 222 nm MgF_2
2. Schicht 7 nm ZrO_2
3. Schicht 256 nm MgF_2
4. Schicht 10 nm ZrO_2
5. Schicht 255 nm MgF_2
6. Schicht 13 nm ZrO_2
7. Schicht 245 nm MgF_2
8. Schicht 20,5 nm ZrO_2
9. Schicht 121 nm MgF_2

Luft

Die Gesamtdicke der Schichtfolie beträgt 1149,5 nm, davon entfallen 1099 nm auf die MgF_2 -Schichten und 50,5 nm auf die für die Antireflexwirkung notwendigen ZrO_2 -Schichten.

Diese Schichtfolge und das dabei eingesetzte niedrigbrechende Material MgF_2 zeigen jedoch nur die prinzipielle Antireflexwirkung, da eine Hartschicht aus MgF_2 i.a. nicht möglich ist. Das hochbrechende Mate-

rial kann jedoch in einer Beschichtung durchaus variieren und außenseitig eine abriebfestere Deckschicht mit entsprechendem Brechungsindex aufgebracht werden. In der Kombination mit SiO_2 als Hartschicht sind dabei außer den schon genannten Ta_2O_5 z.B. für den UV-Bereich ZrO_2 sowie HfO_2 und im VIS- und NIR-Bereich TiO_2 oder ITO (Indium-Zinn-Oxid) möglich. Wesentlich für die Verwendung des hochbrechenden Materials ist dabei dessen geringe Gesamtdicke unter $1/20$ der Gesamtdicke der Schichtfolge, wodurch gesichert ist, dass bei der Herstellung der Beschichtung eine minimale Wärmebelastung des Kunststoffsubstrates auftritt. Bei Verwendung von Indium-Zinn-Oxid (ITO) kann die Beschichtung zusätzlich antistatisch wirken.

Beispiel 5

Ein Anwendungsbeispiel ist die Entspiegelung von Brillengläsern sowie von optischen Fenstern aus transparenten Kunststoffen (Polycarbonat oder PMMA), z.B. für Anzeigen von Messgeräten und in Fahrzeugen, welche nach der Beschichtung eine Abriebbeständigkeit nach ISO 9211-02-04 (Radiergummitest, 40 Hübe mit einer Kraft von 10 N) aufweisen sollen.

Die zu beschichtenden Substrate werden in einer Beschichtungsanlage mit Plasma-Ionenquelle vor der eigentlichen Schichtabscheidung 30 Sekunden lang mit Argonionen einer Energie von ca. 100 eV und einer Stromdichte von ca. 0.1 mA/cm^2 beschossen.

Wenn es sich um Substrate aus PMMA handelt, wird diese Vorbehandlung durch eine Oberflächenmodifizierung von Polymethylmethacrylat, wie sie ausführlich in DE 197 03 538 A1, auf deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich Bezug genommen wird, beschrieben ist, ersetzt.

Dabei wird zur Erhöhung der Haftfähigkeit und Stabilität der Beschichtung eine Plasmabehandlung im Vakuum vor dem Aufbringen der Beschichtung durchgeführt. Bei der Plasmabehandlung wird Sauerstoff und ein Wasser enthaltendes Gas zugeführt. Es sollte vorzugsweise ein äquivalenter Anteil von Wasser, der einer relativen Luftfeuchtigkeit von mindestens 40 % entspricht, eingehalten werden. Das Substratmaterial wird dadurch an der Oberfläche abgetragen und parallel dazu eine chemische Reaktion eingeleitet, bei der die Oberfläche des Substrates unter Ausbildung einer Polymerschicht verändert wird. Die an der Oberfläche des Substrates ausgebildete Polymerschicht unterscheidet sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und dementsprechend auch mit ihren Eigenschaften deutlich vom unbehandelten Substratmaterial. Dieses oberflächliche Polymermaterial weist einen besonders hohen Anteil von Methylen- und Hydroxylgruppen auf. Bei PMMA als Substrat sind während dieser, die Oberfläche modifizierenden Vorbehandlung die charakteristischen C=O und C=O-Gruppierungen abgebaut worden.

Für die Herstellung der Beschichtung werden abwechselnd Schichten aus SiO₂ und Ta₂O₅ abgeschieden, wobei die wachsende Schicht mit Ar-Ionen einer Energie

von 80 eV (SiO_2) und 120 eV (Ta_2O_5) und einer Strom-
dichte von ca. 0.1 mA/cm^2 beschossen wird. Durch Ab-
scheidung des in Beispiel 1 angegebenen Schichtsy-
stems wird die Reflexion einer beschichteten Fläche
5 im sichtbaren Spektralbereich von 420 nm bis 670 nm
auf $< 1\%$ verringert. Die Durchlässigkeit für sichtba-
res Licht (Transmission) wird durch eine beidseitige
Beschichtung von 92% auf $> 98\%$ erhöht. Das Beschich-
tungsverfahren mit der Argonionenbehandlung ist um-
fassend in DE 197 52 889 C1 beschrieben.
10

Die Beschichtung besteht den Abriebtest nach ISO
9211-02-04 ohne Defektbildung sowie einen Abriebtest
mit Stahlwolle. Die Kratzfestigkeit wurde damit ge-
15 genüber der des unbeschichteten Substrates wesentlich
verbessert. Die Figur 6 zeigt die gemessene Transmis-
sion bei einseitiger Beschichtung eines so herge-
stellten Schichtsystems.

20 Beispiel 6

Auf einem Substrat eines Cyklo-Olefin-Polymer oder
eins Cyklo-Olefin-Copolymer, wie sei beispielsweise
unter den Handelsbezeichnungen „Zeonex“ und „Topas“
25 kommerziell erhältlich sind, wurde eine reflexions-
mindernde Beschichtung aus einem alternierenden Wech-
selschichtsystem, bestehend aus Einzelschichten, die
aus SiO_2 und Ta_2O_5 gebildet sind, aufgebracht. Diese
Beschichtung besteht aus insgesamt 27 Einzelschichten
30 und es kann so eine hohe mechanische Stabilität er-
reicht werden.

Bei der alternierenden Ausbildung der einzelnen Schichten im Vakuum kann vorteilhaft ein ionen-
gestütztes Verfahren durchgeführt werden, wobei die je-
weilige Schicht mit Argon-Ionen beschossen wird. Bei
5 einer SiO_2 -Schicht kann vorteilhaft mit einer Energie
von 80 eV und bei einer Ta_2O_5 -Schicht mit einer Ener-
gie von 120 eV und jeweils einer Stromdichte von ca.
0,1 mA/cm^2 gearbeitet werden.

10 Eine solche Beschichtung ist, obwohl sehr dünne hoch-
brechende Schichten aus Ta_2O_5 ausgebildet worden
sind, unempfindlich gegen systematische Schichtdik-
kenfehler und es werden keine höheren Ansprüche an
die genaue Einhaltung von Schichtdicken gestellt.

15 Die Beschichtung widersteht dem Abriebtest nach ISO
9211-02-04 ohne Defektbildung und auch einem Abrieb-
test mit Stahlwolle. Die Kratzfestigkeit ist äquiva-
lent zu einer reinen SiO_2 -Schicht mit gleicher Dicke.

20 Ein Substrat mit einer solchen Beschichtung weist ei-
ne sehr gute Klimabeständigkeit auf und es konnten
bei Temperaturen zwischen -35°C und $+100^\circ\text{C}$ keiner-
lei Rissbildung oder Ablösung der Beschichtung fest-
25 gestellt werden, so dass die Klimabeständigkeit deut-
lich höher als die von reinen SiO_2 -Einzelschichten
oder anderen bekannten reflexionsmindernden Schichten
oder Schichtsystemen ist.

30 Für die reflexionsmindernde Beschichtung bei diesem
Beispiel wurde folgender Aufbau gewählt:

Substrat Cyklo-Olefin-Polymer oder Cyklo-Olefin-Copolymer

- | | |
|----|--------------------------------------------------|
| | 1. Schicht 34 nm SiO ₂ |
| 5 | 2. Schicht 3 nm Ta ₂ O ₅ |
| | 3. Schicht 236 nm SiO ₂ |
| | 4. Schicht 2 nm Ta ₂ O ₅ |
| | 5. Schicht 254 nm SiO ₂ |
| | 6. Schicht 2 nm Ta ₂ O ₅ |
| 10 | 7. Schicht 255 nm SiO ₂ |
| | 8. Schicht 3 nm Ta ₂ O ₅ |
| | 9. Schicht 255 nm SiO ₂ |
| | 10. Schicht 3 nm Ta ₂ O ₅ |
| | 11. Schicht 254 nm SiO ₂ |
| 15 | 12. Schicht 4 nm Ta ₂ O ₅ |
| | 13. Schicht 254 nm SiO ₂ |
| | 14. Schicht 4 nm Ta ₂ O ₅ |
| | 15. Schicht 253 nm SiO ₂ |
| | 16. Schicht 4 nm Ta ₂ O ₅ |
| 20 | 17. Schicht 253 nm SiO ₂ |
| | 18. Schicht 4 nm Ta ₂ O ₅ |
| | 19. Schicht 254 nm SiO ₂ |
| | 20. Schicht 3 nm Ta ₂ O ₅ |
| | 21. Schicht 424 nm SiO ₂ |
| 25 | 22. Schicht 5 nm Ta ₂ O ₅ |
| | 23. Schicht 225 nm SiO ₂ |
| | 24. Schicht 30 nm Ta ₂ O ₅ |
| | 25. Schicht 23 nm SiO ₂ |
| | 26. Schicht 56 nm Ta ₂ O ₅ |
| 30 | 27. Schicht 92 nm SiO ₂ |
| | Luft |

In der Figur 7 ist das Reflexionsverhalten eines beidseitig beschichteten Cyklo-Olefin-Polymer mit der Handelsbezeichnung „Zeonex“ dargestellt.

5 Mit dem Diagramm wird deutlich, dass die Reflexion im sichtbaren Spektralbereich des Lichtes, also bei Wellenlängen zwischen 420 nm bis 670 nm sehr gleichmäßig unter 0,5% gehalten werden kann. Gleichzeitig kann
10 die Durchlässigkeit für sichtbares Licht (Transmission) von 92% auf > 98% erhöht werden, so dass sehr gute optische Eigenschaften gewährleistet sind.

Die Figur 8 zeigt den Aufbau eines Schichtsystems in einem Prinzipschema.

15

20

25

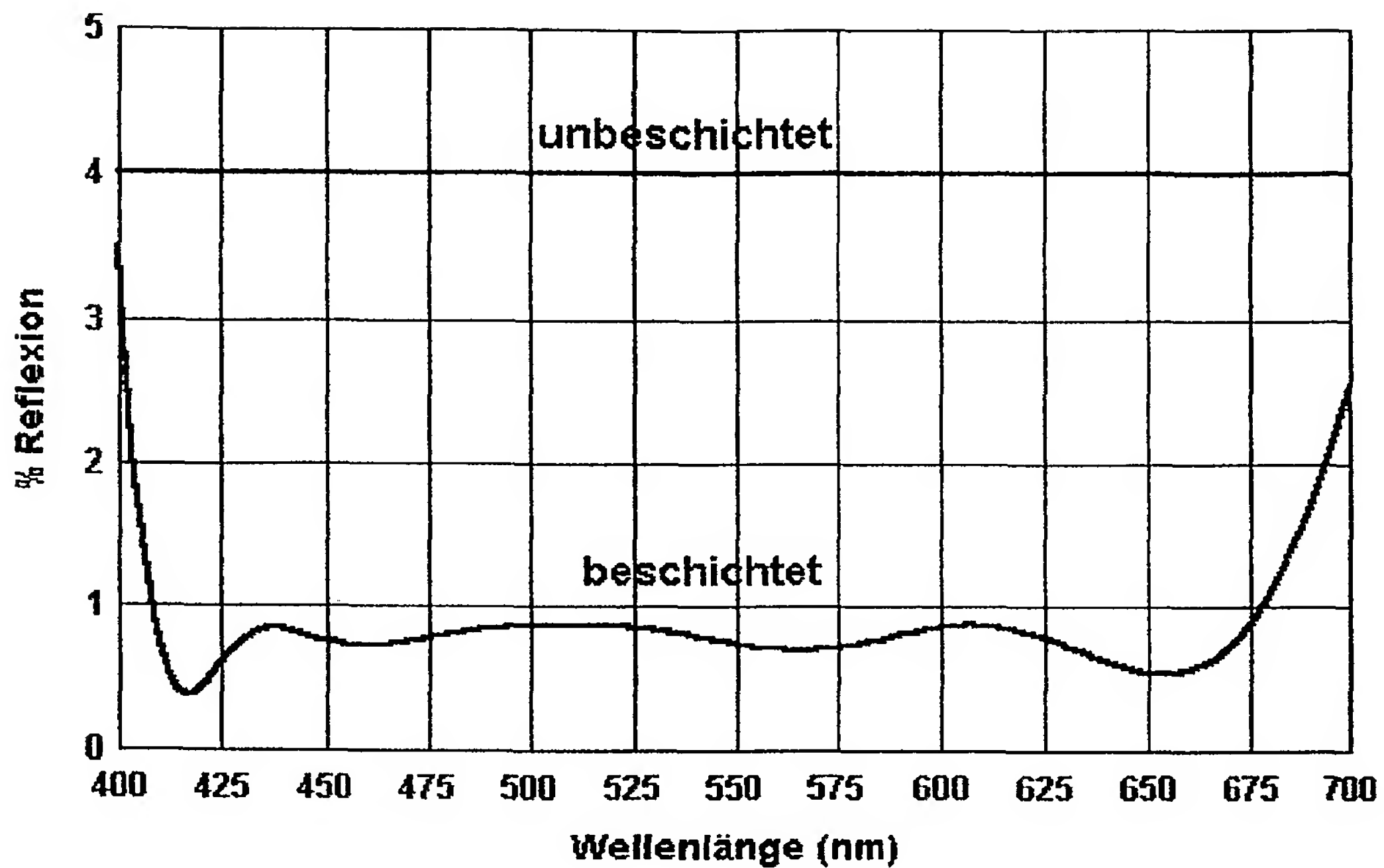
30

Patentansprüche

1. Reflexionsmindernde Beschichtung auf einem Substrat, die aus einem alternierenden Wechselschichtsystem, unterschiedlicher Schichtmaterialien mit jeweils niedrigerem und höherem Brechungsindex gebildet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass die Summe der Schichtdicken von Schichten mit höherem Brechungsindex $\leq 5\%$ der Gesamtschichtdicke der Beschichtung ist und die Schichten aus dem Material mit höherem Brechungsindex innerhalb der Schichtfolge des Wechselschichtsystems gleichmäßig verteilt sind.
2. Reflexionsmindernde Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung auf optisch transparentem Substrat aufgebracht ist.
3. Reflexionsmindernde Beschichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat aus einem Kunststoffmaterial oder einem temperaturempfindlichen Kristallmaterial besteht.
4. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Schichtmaterial mit höherem Brechungsindex ausgewählt aus Oxiden oder Fluoriden der Elemente der IV. und V. Nebengruppen ist.

5. Reflexionsmindernde Beschichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Schichtmaterial für die Schichten mit höherem Brechungsindex Ta_2O_5 , ZrO_2 , HfO_2 , TiO_2 oder Indium-Zinn-Oxid ist.
6. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass SiO_2 ein Schichtmaterial für die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex ist.
7. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass MgF_2 ein Schichtmaterial für die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex ist.
8. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die die Grenzschicht zu Luft bildende Schicht aus einem Material mit niedrigerem Brechungsindex gebildet ist.
9. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass höher brechende Schichten aus unterschiedlichen Materialien im Schichtsystem angeordnet sind.
10. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Schichtsystem auf einen vorgebbaren Wellenlängenbereich des Lichtes abgestimmt ist.

- 5 11. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens fünf Einzelschichten das Schichtsystem bilden.
- 10 12. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung eine Gesamtdicke zwischen 500 und 2500 nm aufweist.
- 15 13. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat ein optisches oder optoelektronisches Element ist.
- 20 14. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat ein Brillenglas ist.



Berechnetes Reflexionsspektrum für eine ABAR-Beschichtung auf einem Kunststoffsubstrat gegen Luft, bestehend aus 9 Einzelschichten und einer Gesamtdicke von 1100 nm (siehe Beispiel 1).

Figur 1

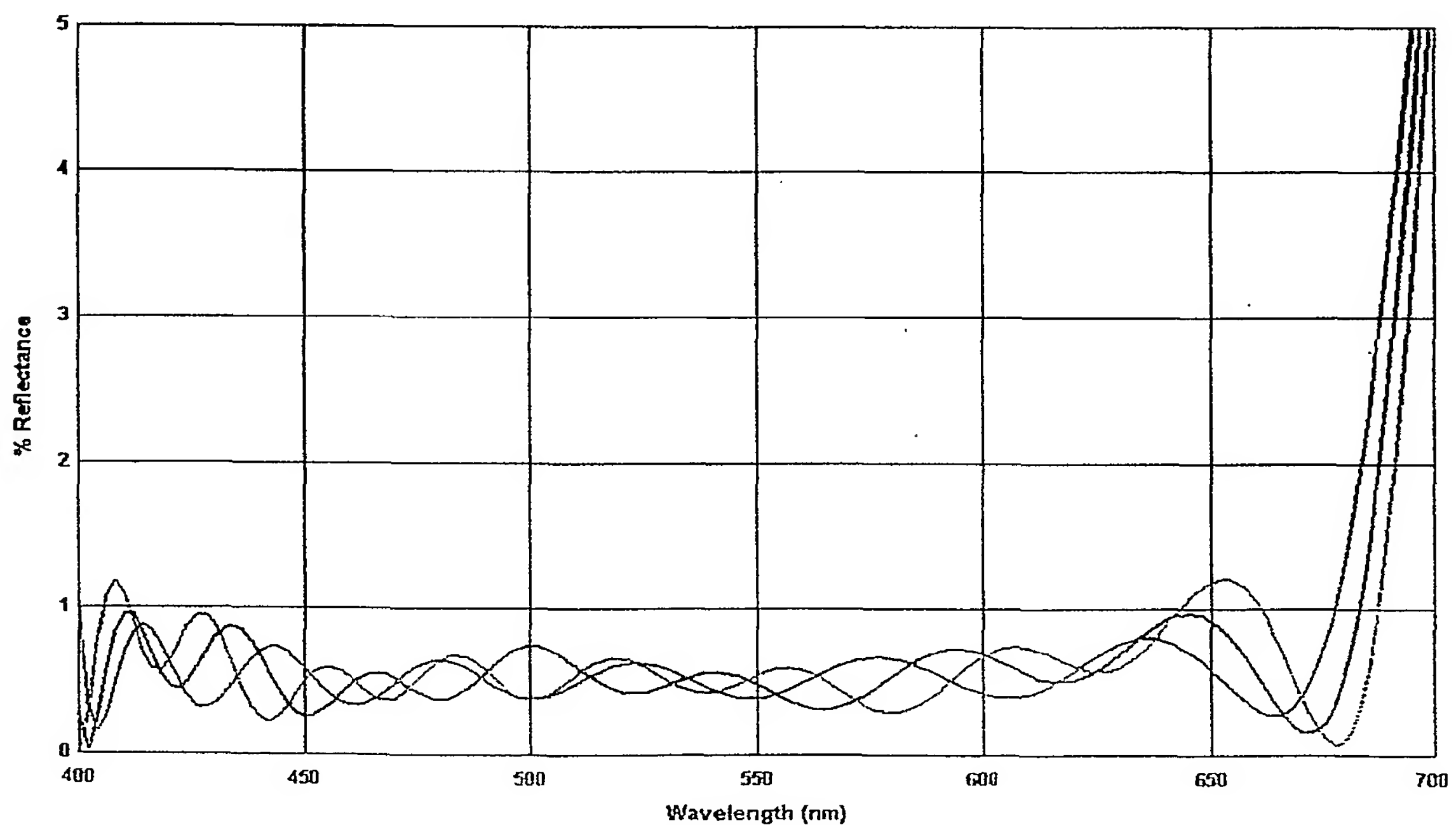
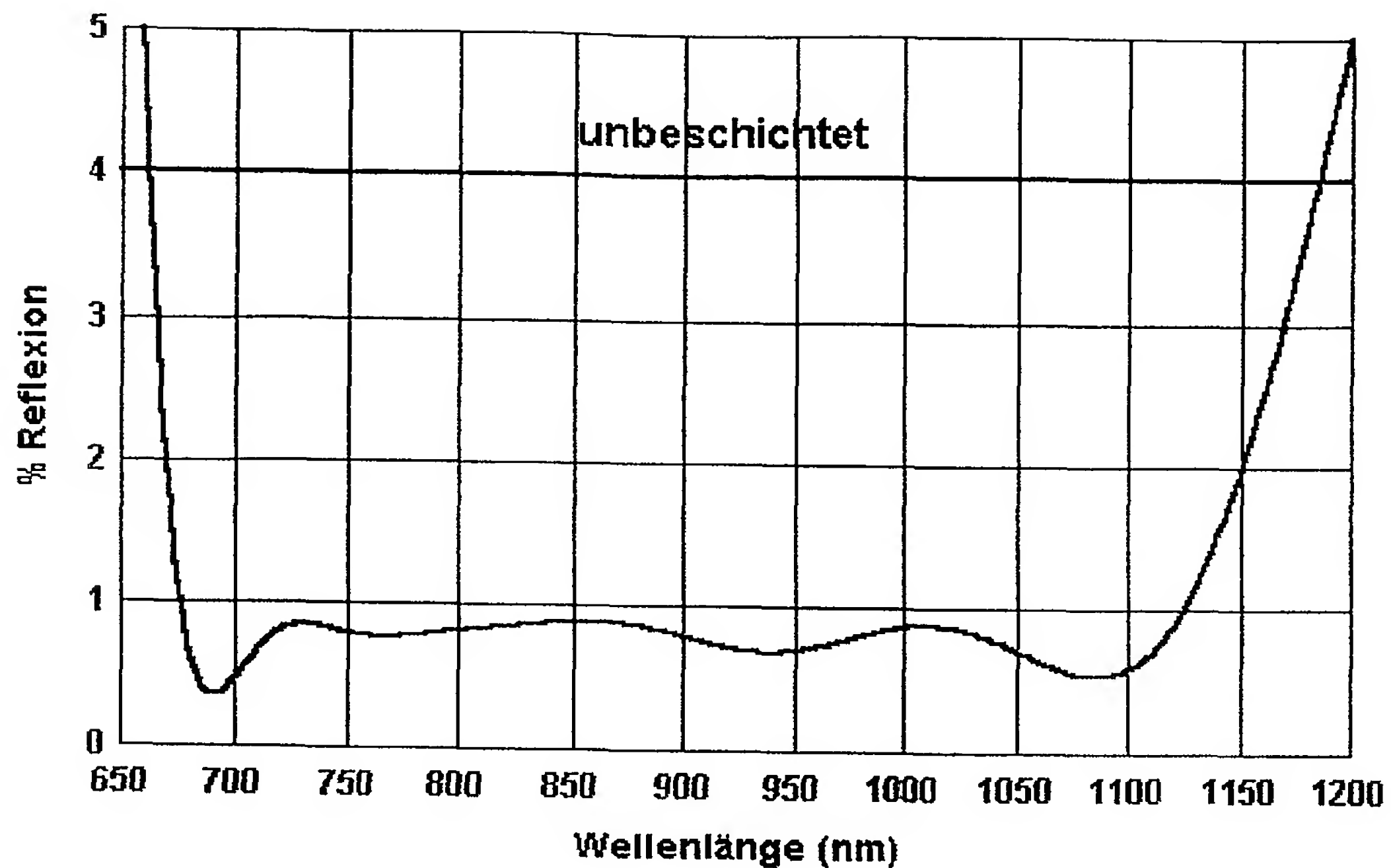


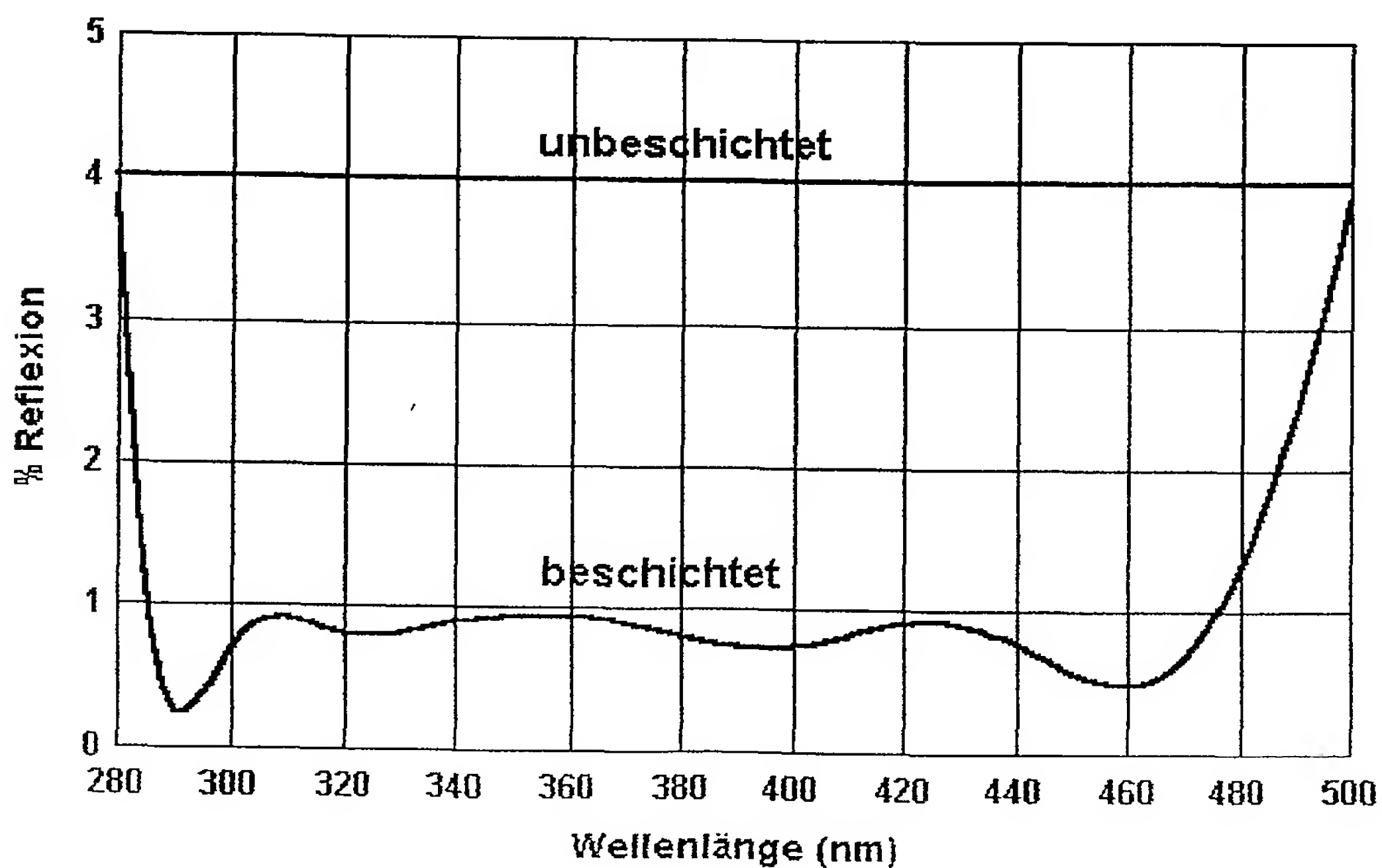
Abb. 2: Berechnete Reflexionsspektren für ABAR-Schichten für den sichtbaren Spektralbereich mit unterschiedlichen Gesamtschichtdicken (blau – 13 Schichten, violett – 15 Schichten, gelb – 17 Schichten).

Figur 2



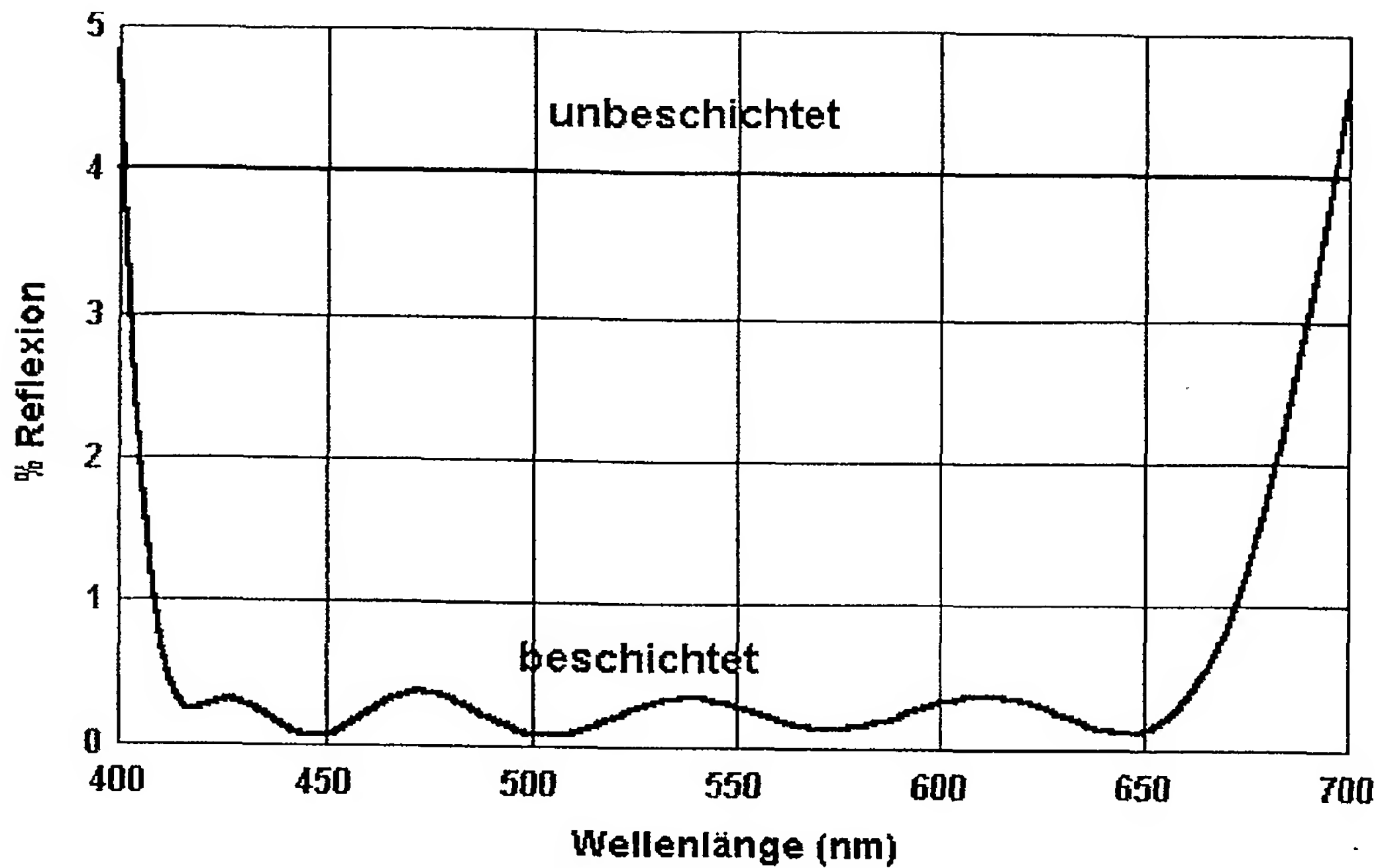
Berechnetes Reflexionsspektrum für eine ABAR-Beschichtung auf einem Kunststoffsubstrat gegen Luft im NIR-Bereich, bestehend aus 9 Einzelschichten und einer Gesamtdicke von 1827 nm (siehe Beispiel 2).

Figur 3



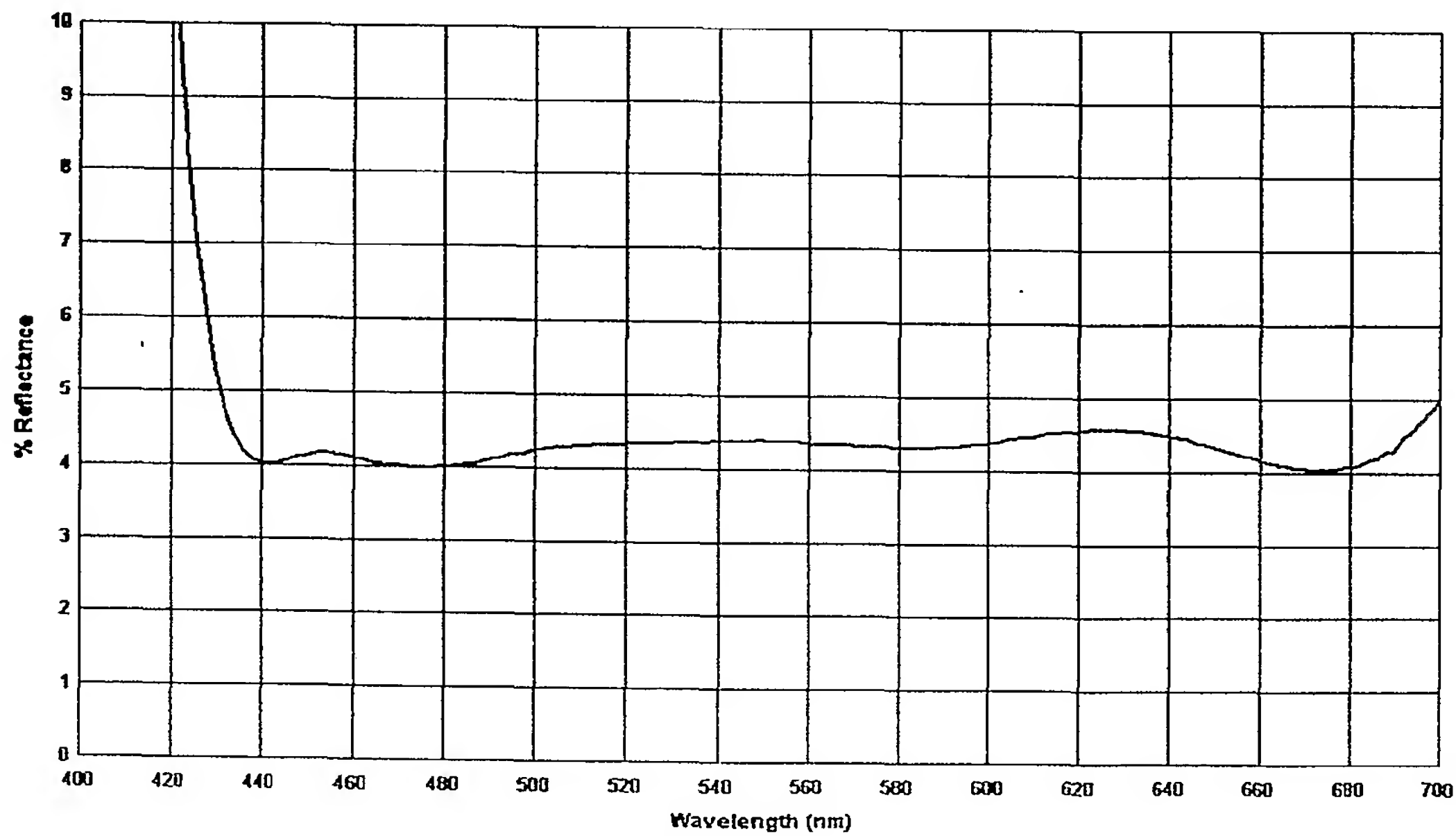
Berechnetes Reflexionsspektrum für eine ABAR-Beschichtung auf einem Kunststoffsubstrat gegen Luft im UV-Bereich, bestehend aus 9 Einzelschichten und einer Gesamtdicke von 771,5 nm (siehe Beispiel 4).

Figur 4



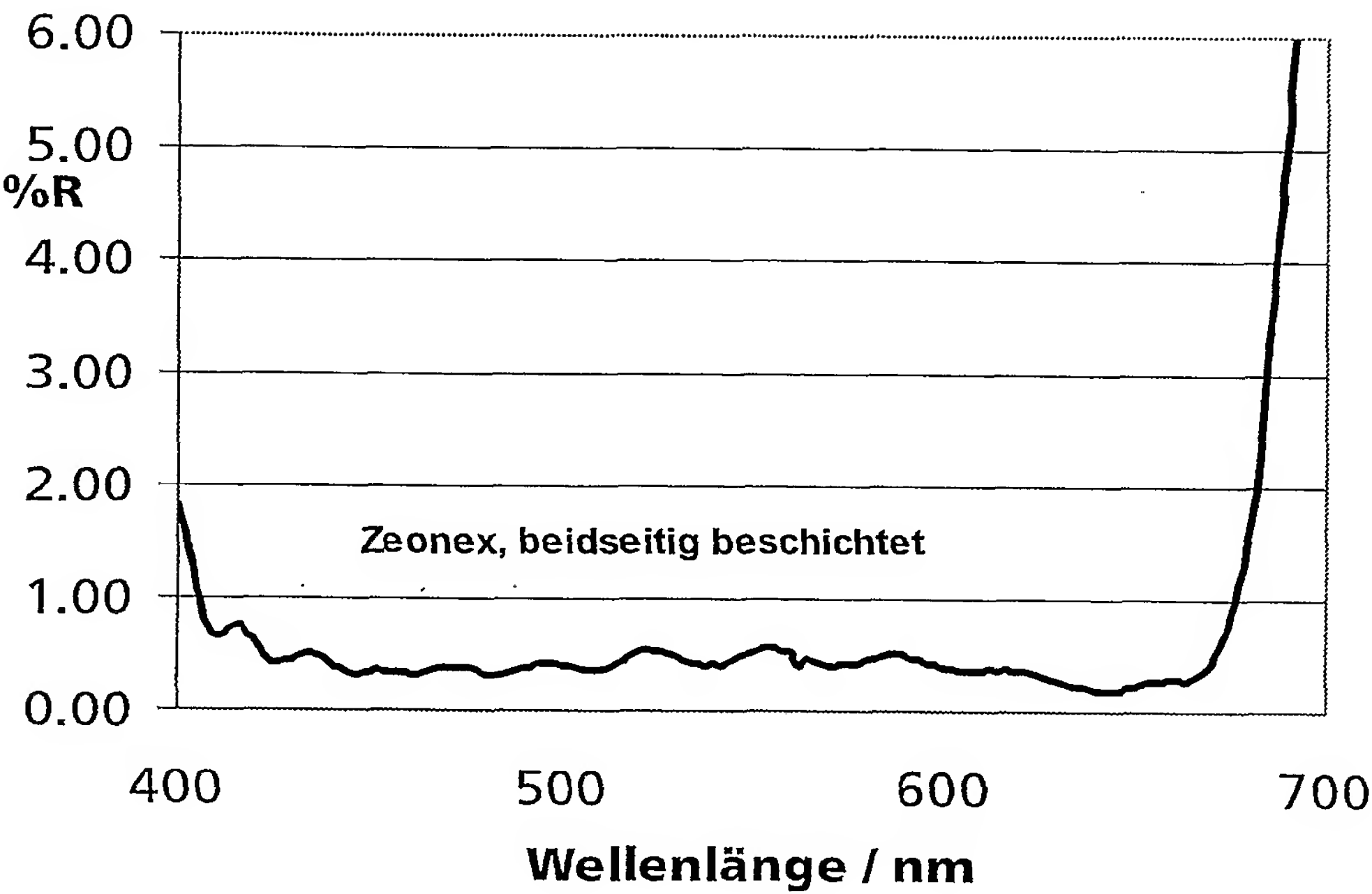
Berechnetes Reflexionsspektrum für eine ABAR-Beschichtung auf einem Kunststoffsubstrat gegen Luft im VIS-Bereich mit einer Restreflexion $< 0,5\%$, bestehend aus 9 Einzelschichten und einer Gesamtdicke von 771,5 nm (siehe Beispiel 4).

Figure 5

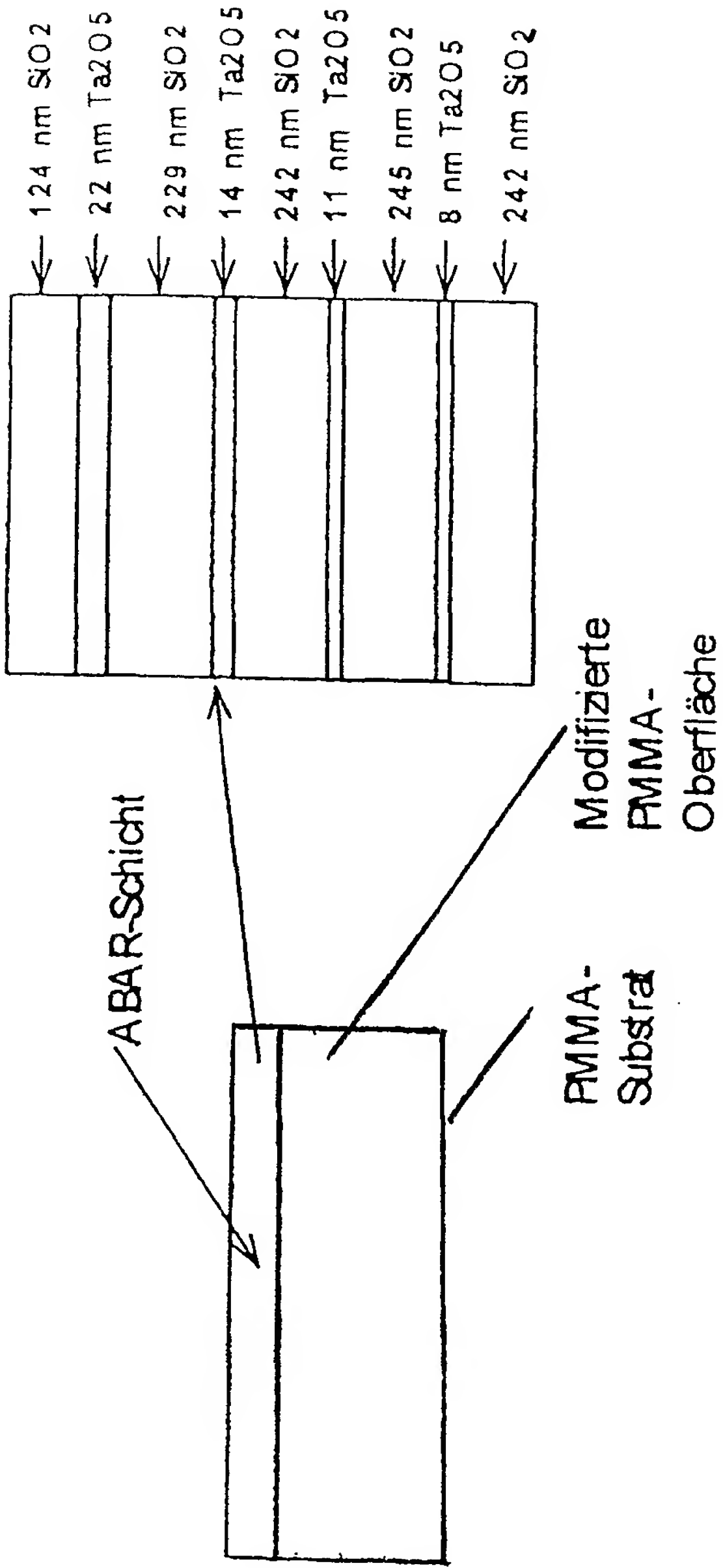


Gemessenes Transmissionsspektrum einer einseitig mit einem ABAR-Schichtsystem nach Beispiel 1 ausgeführten Beschichtung eines PMMA-Substrates (Reflexion der unbeschichteten Rückseite: 4%).

Figure 6



Figur 7



Schematischer Aufbau eines abriebbeständigen Antireflex-Schichtsystem auf PMMA (Gesamtschichtdicke ca. 1.1µm).

Figur 8

ABA-R-Schichten= Abriebbeständige Antireflexbeschichtungen